

# Sobre la costa catalana

ENRIQUE COPEIRO DEL VILLAR

## INTRODUCCIÓN

El medio millar de kilómetros de costa que bordea Catalunya posee una variedad extraordinaria de ambientes litorales. Hay largos sectores de costa resistente, que contiene tanto acantilados como infinidad de playas diminutas encajadas entre los accidentes rocosos, y hay también grandes planicies litorales sedimentarias donde las playas se suceden ininterrumpidamente durante decenas de kilómetros. Entre estas grandes playas las hay que reposan en un arco oval de equilibrio casi estático y las hay que poseen una potente dinámica sedimentaria. Algunas de ellas contienen espectaculares cadenas de dunas móviles. Otras formaciones sedimentarias contienen zonas lacustres que se cuentan entre los enclaves de vida silvestre más importantes de Europa. Los estuarios faltan, pero no los deltas. Los hay minúsculos, medianos y hay naturalmente el elaborado por el Ebro, el tercero del Mediterráneo por su tamaño y uno de los monumentos naturales más notables del continente.

No es el objetivo de este artículo el dar una impresión a vista de pájaro de toda la riqueza de episodios costeros que se encuentran en un recorrido de la costa catalana. He preferido escoger dos zonas litorales características y describir los elementos de su constitución física y algunas vicisitudes de la intervención humana sobre ella. Esta descripción dará pie para comentar varios aspectos importantes de la interacción entre la dinámica física de la franja costera de la Península Ibérica y las actividades de sus habitantes. El marco peninsular permite comprender mejor el caso catalán además de su interés específico. No se va a introducir aquí ese marco de forma sistemática sino a medida que la ocasión lo sugiera. También se introducen a lo largo del artículo algunos elementos de dinámica litoral.

Los dos tramos costeros escogidos son el sector septentrional del litoral de Barcelona y el delta del Ebro. Ambos son litorales sedimentarios con una dinámica considerable. El primero ha sido objeto de un proceso intenso y rápido de intervención artificial directa cuyos efectos están bien a la vista: sus playas están entre las más densamente intervenidas de la Península. El segundo de aquellos tramos ha estado hasta ahora fuera del proceso de intervención directa en el borde litoral mismo. Veremos sus características y comentaremos el impacto de gran envergadura que le aguarda en un plazo no lejano como consecuencia de una intervención indirecta: las presas del Ebro. Los dos casos dan ocasión para revisar algunos aspectos generales de la problemática relativa a la ocupación y uso del litoral y a las obras de defensa de costas.

## LA COSTA SEPTENTRIONAL DE BARCELONA: PROCESOS NATURALES

Hace unos 4.000 años, cuando la rápida elevación Flandense del nivel del mar alcanzó aproximadamente la cima de su curva de subida, el mar lamía las faldas de la cordillera costera catalana y penetraba por las desembocaduras de los ríos del Maresme y el Barcelonés. Desde entonces, a lo largo de estos pocos milenios de relativa estabilidad en el eustatismo marino, los aportes de sedimento vertidos en el litoral por las aguas continentales han venido siendo modelados por el oleaje hasta formar la franja litoral que se extiende desde los cantiles de Garraf hasta los comienzos de la Costa Brava cerca de Blanes. Sólo en las desembocaduras de los ríos la "plana" costera tiene cierta anchura, tanto más cuanto mayor la potencia sedimentaria del río: el Llobregat ha formado un amplio delta arqueado de unos 90 Km<sup>2</sup>, mientras que el delta del Besós, apoyado en el del Llobregat, cuenta con unos 16 Km<sup>2</sup> y el del Tordera sólo ha llegado a rellenar 8 Km<sup>2</sup> de delta. En el resto de este sector el llano litoral es un estrecho pasillo que recorre el Maresme entero. Ninguna de las rieras que bajan de la cordillera litoral en el Maresme ha tenido fuerza sedimentaria para originar un saliente deltaico, siquiera pequeño. La actividad del oleaje, que acarrea y distribuye a lo largo del litoral las arenas aportadas por los cauces pluviales, ha resultado supe-

rior al ritmo de aportes de esas rieras.

En todo este sector costero el protagonista prácticamente exclusivo del movimiento de arena a lo largo del litoral es el oleaje. Ni existen corrientes de marea dignas de mención, ni el brazo catalán de la corriente general del Mediterráneo Occidental tiene velocidad suficiente, a profundidades bajas, como para mover el sedimento a un ritmo que pueda influir significativamente en las playas entre el Tordera y Castelldefels. Desde el Tordera hasta Barcelona el sedimento que predomina en las playas es arena granítica gruesa, que forma un fuerte talud en la línea de orilla y precisa un movimiento enérgico del agua para ser arrastrada.

En las Gráficas 1 a 8 se presenta una estima del régimen direccional de oleaje que llega a la zona central del Maresme. Las rectas dibujadas en el papel semilogarítmico son funciones exponenciales que ajustan un conjunto de cerca de 7.000 datos pertenecientes a esta zona. Cada recta caracteriza uno de los sectores direccionales en que se han repartido los datos, según se muestra en la fig. 2. La coordenada horizontal representa la frecuencia con que el oleaje viene de un cierto sector direccional y está por debajo de una altura dada. Es una frecuencia absoluta, es decir caracteriza las condiciones medias en lo que se suele denominar el "año medio". La forma de interpretar este régimen es como sigue: En la Gráfica 1, por ejemplo, la frecuencia correspondiente a la altura de ola 2,5 m es 0,9986. Esto quiere decir que durante el 99,86% del año medio el oleaje o viene de direcciones que no son del sector 1 o viene del sector 1 pero con altura inferior a 2,5 m. Naturalmente, el oleaje llega entonces a ese punto central del Maresme con una altura de más de 2,5 m y proveniente del sector 1 durante el 0,14% del año medio.

La Gráfica 7 nos dice que el oleaje del conjunto de sectores (1, 2, 3 y 4a), a la derecha del perpendicular a la alineación general del Maresme, predomina como promedio sobre el oleaje del otro conjunto (4b, 5 y 6). Esto quiere decir que el transporte de arena por el oleaje hacia la izquierda prevalece sobre el transporte sedimentario neto hacia el S.O. en esta zona. En este tramo las irregularidades de los fondos en aguas someras no son suficientes como para cambiar sustancialmente la relación en el área de rompientes, donde el oleaje vierte la mayor parte de su energía y tiene lugar la gran masa del transporte litoral de arena. Aplicando un modelo matemático de transporte sólido al régimen direccional de oleaje podemos obtener una estima de los volúmenes movidos. El modelo de Caldwell-Komar-Inman nos da aquí, con el régimen de la Gráfica 7, un transporte neto en dirección S.O. de entre 100.000 y 200.000 m<sup>3</sup>/año. Este margen relativamente amplio con que defino el resultado quiere indicar la naturaleza poco exacta de este tipo de estimas, no las variaciones reales en el transporte entre unos y otros años. Estas son mayores aún. El oleaje en la costa catalana, como el resto de los elementos climáticos de tipo mediterráneo, se caracteriza por unas grandes oscilaciones en torno a las cifras medias.

Si confeccionásemos regímenes de oleaje para todos los tramos de costa entre Garraf y el Tordera comprobaríamos que siempre predomina el oleaje que transporta la arena litoral hacia el S.O. Sin embargo no siempre las cantidades son iguales. Esto quiere decir que existen zonas de erosión y zonas de deposición.

De esta forma el oleaje tiende a regularizar la alineación costera distribuyendo la arena a lo largo de un recorrido salpicado de fuentes y sumideros. A lo largo del Maresme, la estrecha franja sedimentaria que ha empastado las faldas de la cordillera litoral ha sido elaborada con materiales que provienen en buena parte del delta del Tordera, en el extremo N.E. del sector. Los aportes de las pequeñas rieras locales, hasta el Besós, son de importancia menor. Es probable que las desembocaduras de varias de esas rieras, donde antes penetraba el mar, fueran cerradas en primer lugar por la deriva litoral proveniente del N.E. antes de que los aportes de las mismas rieras terminaran de rellenar las lagunas atrapadas por los cierres.

El delta combinado del Besós y el Llobregat, que forma un

quiebro saliente respecto a la línea costera del Maresme, ha representado un obstáculo a la circulación del sedimento del N.E. pero no una barrera total. En algunos tramos del delta del Llobregat que hoy están en retroceso se descubren capas de materiales venidos del Maresme, fácilmente identificables por su composición mineralógica diferente. No hay, en cambio, materiales del Llobregat en el Maresme. Dejando, pues, parte de su contenido por el camino, la corriente sedimentaria neta contorneaba el saliente deltaico. La forma misma de ese saliente habla de este proceso. No es un delta apuntado sino suavemente convexo, en un gran arco que prueba que, si bien la fuerza sedimentaria del río domina sobre el transporte litoral del oleaje, ese predominio no significa un eclipse.

Al llegar a las costas de Garraf nos encontramos con la última gran barrera litoral de este sector. Como en los roqueados de Calella, vemos aquí cómo la deriva de sedimento hacia el S.O. ha venido siendo bloqueada por los montes calizos de Garraf que llegan hasta el mismo mar. Seccionados de E.N.E. a O.S.O. por la gran falla que marca la línea de costa actual, estos montes formaban un saliente costero cuando el Llobregat aún no había rellenado con sus depósitos la gran ensenada que hace pocos miles de años había en el Llano de Barcelona. Apoyada en aquel saliente creció la playa de Castelldefels, que sigue aún creciendo. La profundidad al pie de los cantiles de Garraf ha disminuído con la deposición continua de los sedimentos más ligeros que llegaban a alcanzar esa zona, pero el proceso no ha llegado aún a avanzar lo suficiente como para que una parte importante de la arena que llega a Castelldefels pueda ya contornear los acantilados. Sólo la parte más móvil del sedimento llega a circular al pie de los cantiles: pequeñas partículas calizas provinientes del Llobregat (y en parte del propio Garraf), y fragmentos de hornblenda, cuya forma hojaldrada les hace extraordinariamente suspendibles en el agua. Este último mineral, que forma una gran parte del sedimento que se mueve a lo largo del Garraf, no proviene del Llobregat sino del Maresme. El Llobregat no contiene hornblenda. En cambio sí la contienen las arenas graníticas que circulan hacia Barcelona desde el N.E. Esas delgadas hojas de mineral pesado parecen ser el principal material suficientemente móvil como para contornear hoy en cantidades apreciables el dique del puerto de Barcelona, en su camino hacia el S.O.

## LOS RITMOS NATURALES DE LAS PLAYAS

Un problema de orden diferente es el derivado de la movilidad del borde marítimo. Se ha indicado antes, de forma esquemática, cómo un conjunto de playas es un sistema dinámico que conecta fuentes y sumideros de arena a lo largo del litoral según movimientos impulsados por el oleaje. En una situación de equilibrio, la alineación de la serie de playas del sistema es función de la energía y ángulo del oleaje además de las características de la arena. Pero este equilibrio no solamente es dinámico sino también oscilante. Las variaciones estacionales del oleaje producen pulsaciones en la magnitud, y a veces en la dirección, del transporte de arena. Las variaciones hiperanuales en torno a la caracterización media del oleaje originan otras pulsaciones de más largo período. A esto hay que añadir las fuertes irregularidades en la entrega de material sedimentario al litoral, que ríos y rieras de Catalunya suelen concentrar en pocas pero potentes riadas heterogéneamente esparcidas. Y, por último, no sólo la línea de planta es un sistema dinámico sino que también lo es el perfil de las playas, su talud emergido y sumergido. Sin analizar aquí las causas de este proceso es suficiente indicar que el oleaje alto y peraltado de tormenta produce taludes relativamente tendidos y lleva parte de la arena de la playa seca hacia zonas sumergidas, donde forma una o más barras en la zona de rompientes; mientras que el oleaje más bajo y tendido de las bonanzas reconstruye un talud de playa más empinado y restituye a la playa seca, lentamente, la arena de las barras formadas por el oleaje de tormenta. Este cambio de perfiles se traduce

en un cambio en la anchura de la playa. Naturalmente, las oscilaciones estacionales e hiperanuales en el tipo de oleaje que recibe la costa se reflejan en correspondientes variaciones en la anchura de la playa. Estas variaciones se superponen a las producidas por las variaciones en la alineación de las playas producidas por los factores señalados anteriormente, para originar en definitiva un contorno sedimentario acusadamente móvil. Podrían mencionarse otros factores adicionales de movilidad.

El borde playero está sujeto, pues, aun en condiciones de equilibrio, a cambios de pulsaciones de varios órdenes en magnitud y en período.

Parece claro que quienes tendieron la vía férrea a lo largo del Maresme consideraron las playas de este sector lo suficientemente anchas e inmóviles como para hacer pasar el trazado por su mismo borde. Quizá en sitios fue encima de la playa, y sin duda en varios lugares a una distancia imprudente del agua. Han pasado bastantes décadas desde su construcción, y no tiene nada de excepcional que hoy encontremos largos tramos de vía protegidos del ataque del mar con escolleros y sin playa a su pie. La propia presencia de escolleros de costa con taludes fuertes hace más difícil la reconstitución de una playa seca junto a ella debido al incremento de agitación producido por la reflexión de las olas en el talud. Pero a los efectos de las variaciones naturales del trazado del borde playero hay que añadir, a este respecto, los múltiples impactos erosivos producidos por los puertos y por varios de los espigones construídos en este sector. Este es un tipo de fenómeno que en el Maresme ha cobrado tal extensión que hoy podemos decir que caracteriza la costa entre Arenys de Mar y Badalona. En un futuro no lejano, si las cosas no cambian, puede muy bien caracterizar el Maresme entero desde Malgrat a Badalona.

## PUERTOS, PLAYAS Y ESPIGONES

La enemistad entre arena litoral y puertos es en este sector costero tan antigua como la propia existencia de los puertos. Esto no es de extrañar teniendo en cuenta que estamos en una costa abierta y sedimentaria, sin refugios naturales y donde la circulación de arena a lo largo del litoral tiene una intensidad bien apreciable.

En un principio los puertos fueron los perdedores inevitables. Además los primeros puertos se situaron en torno a Barcelona y tuvieron que contender con el crecimiento de los deltas del Llobregat-Besós. El puerto romano de Barcelona se acogió al abrigo de Montjuïc, entonces un saliente costero, y hoy está bien tierra adentro. Los puertos construídos en la Edad Media, en la parte oriental de Barcelona, también están ya totalmente en seco.

Cuando se construyó el puerto definitivo de Barcelona, que en principio era tan sólo el arranque del actual dique de Levante, la arena interceptada por el dique se acumuló rápidamente y en poco tiempo llegó a rebasarlo. Los bancos de arena formados a través de la bocana del puerto por la arena que remontaba el dique fueron siempre la pesadilla de los portuarios, que combatieron la intrusión con sucesivas ampliaciones del dique. De esta forma creció también constantemente la playa apoyada en el dique, originando la Barceloneta.

El bloque de transporte sedimentario litoral por parte del puerto de Barcelona, tanto más efectivo cuanto más ha sido alargado el dique de Levante, ha sido uno de los principales factores en el retroceso del delta del Llobregat en su parte oriental. Otro de los factores es la disminución de aportes sólidos del río debido a una combinación de elementos que carecemos de datos para discriminar cuantitativamente pero entre los cuales deben figurar pérdidas de arena en los embalses de su cuenca, la regulación del caudal en las presas, la pérdida de volúmenes que se desvían para otros usos, y extracciones de áridos en el cauce. Por último la extracción de arena en el propio delta ha sido considerable. La forma deltaica evoluciona hacia una planta más achatada, adap-

1. Esquema de la costa del Maresme desde el Tordera hasta el Llobregat donde se dibuja toda la obra costera existente.

2. Esquema de los sectores direccionales analizados en una encuesta de oleaje.

3. Frecuencias anuales del oleaje en cada sector considerado.

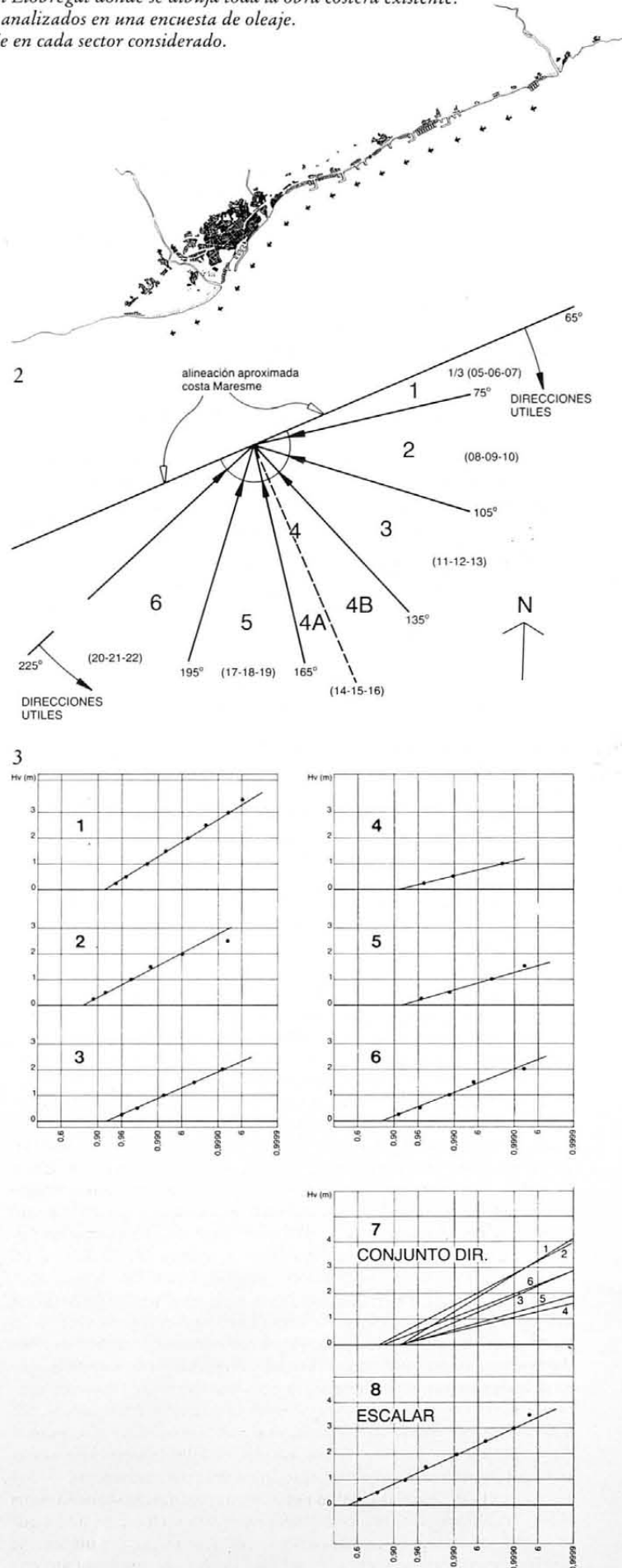
tándose a las nuevas condiciones de un menor flujo sedimentario. Sin embargo su parte occidental no se ve afectada por este proceso, apoyada como está en la barrera rocosa de Garraf según el sentido del transporte neto litoral. Ese tramo sigue siendo progresivo.

El puerto deportivo de Arenys de Mar, el segundo de los construidos en esta costa, ha tenido una relación del mismo tipo con las playas vecinas. El efecto barrera produjo el crecimiento de la playa en el lado de Levante, que también llegó a rebasar parcialmente el dique y causar problemas en la bocana. En este caso no sólo se alargó el dique sino que también se construyó un espigón en La Catell, a Levante de la playa apoyada en el dique, uno de cuyos propósitos era detener el flujo de arena proveniente del Tordera. El espigón produjo su correspondiente efecto barrera deteniendo una ancha playa. Hace poco se construyó un segundo espigón a continuación, el de Canet, con las mismas consecuencias.

Pero si bien el puerto de Arenys ha conseguido solucionar por ahora su problema sedimentario deteniendo efectivamente el transporte sólido del N.E., el impacto producido por esas medidas en las playas hacia Poniente ha sido desastroso. Privadas de la corriente sólida neta que determinaba su alineación del equilibrio, las playas fueron erosionadas por completo y la vía férrea que corría detrás de ellas tuvo que ser defendida con muros de escollera. A medida que la erosión avanzaba hacia Poniente el escollero fue prolongado. Hoy cubre unos 7,3 kilómetros, llegando ya cerca de la playa apoyada en el espigón de Mataró. Posteriormente se han añadido a la escollera 23 espigones y otro puerto deportivo, el Balís, pero ninguna de estas obras ha originado playa en cantidad significativa ya que el transporte neto había sido cortado ya hacia Levante por el propio puerto de Arenys y espigones cercanos.

Otros dos puertos deportivos construidos en los últimos años en el Maresme son los de Premià y el Masnou. Los dos están colocados sobre sendos viejos espigones que en su día actuaron como barreras litorales pero que ya habían sido rebasados en buena medida por la corriente sólida, tras haber organizado las correspondientes acumulaciones a Levante y erosiones a Poniente. El establecimiento de los puertos reimpulsó el efecto barrera en ambos lugares. El puerto de Premià, más a Levante, hubo de contender con el mayor peso del transporte litoral. Siendo de un tamaño modesto se ha visto rápidamente abrumado por la invasión de arena que, después de formar una gran acumulación apoyada en el dique principal, llega a contornearle en masa hasta obstruir la bocana e invadir parcialmente el recinto portuario. Por el contrario, hacia Poniente del puerto, los tramos de playa que quedaban han desaparecido completamente. La línea de orilla es un largo dique de escollera que protege el ferrocarril hasta llegar al puerto del Masnou, cuyo correspondiente efecto barrera ha creado también una playa apoyada. Es una playa de dimensiones más reducidas y cuyo crecimiento es lento, ya que la circulación sedimentaria llega a muy constreñida por la barrera anterior. A continuación del Masnou la erosión subsiguiente que había sido considerable con los espigones anteriores a los dos puertos y aumentó con éstos, ha eliminado también la playa y nos encontramos otra vez en su lugar con el escollero de protección de la vía, que llega hasta las playas de Badalona donde comienza el saliente deltaico del Besòs-Llobregat.

Se ha mencionado que anteriormente a los puertos existían ya algunos espigones en el Maresme, de forma más o menos aislada. Quizá se construyeron para crear un rincón abrigado de los temporales de Levante donde varar las barcas de pesca. Quizá algunos de ellos para ampliar la playa en un punto, a pesar de que la erosionaba en otro. Lo cierto es que todos esos espigones produjeron en efecto un avance de la playa a Levante y un retroceso a Poniente (Mataró, espigón de Levante de Vilassar y de Premià, el Masnou). Sólo los espigones que se construyeron a Poniente de otro, que ya bloqueaba el paso de la arena, no crearon una ampliación de playa significativa (espigones de Poniente de Vilassar y de Premià).





Como consecuencia del proceso bosquejado aquí el Maresme ya tiene, al Oeste de Arenys de Mar, más de la mitad de su línea de costa ocupada por obras costeras de unos u otros tipos. Cortada la comunicación sedimentaria con el transporte del N.E. que trae sobre todo la arena del Tordera, y sembrada de un conjunto heterogéneo e inconnexo de escolladeros de costa, puertos y espigones, la evolución reciente de toda esta zona converge hacia un punto en el que solamente quedan los tramos de playa apoyados a Levante de algunas de las obras-barrera existentes. Por cierto, ese punto final está ya bien próximo.

## EL DELTA DEL EBRO. LOS PROCESOS FISICOS

El delta del Ebro tiene una historia reciente. Desde luego hace cuatro o cinco milenios, cuando comenzó la estabilización de la gran transgresión Flandense, que elevó el nivel del mar en unos 90 metros después de la retirada de aguas en la época glacial de Würm, el mar lamía los bordes de toda la cordillera litoral y no había trazas del delta visible. Por el contrario la desembocadura del Ebro formaba un amplio entrante donde el mar penetraba profundamente. Relatos de viajeros de la antigüedad parecen indicar que incluso hacia el siglo VI A.C. el mar llegaba hasta Tortosa. Sabemos que en tiempos de la ocupación romana Amposta era un puerto marítimo. Las descripciones de la época del dominio ya hablan de una prominencia deltaica, pero considerablemente menor que la actual. Hacia el siglo XII la desembocadura del Ebro estaba aún a unos 19 Km. de Tortosa siguiendo el curso del río, mientras que hoy esa distancia es de unos 40 Km.

Pero el crecimiento más rápido del delta emergido se dio, como atestigua la cartografía de épocas pasadas que se conserva, durante los siglos XV y XVI. En el s. XVI la avanzada deltaica ya había llegado hasta el área de la isla de Buda, en la punta actual del delta. La extensión del delta ha seguido creciendo hasta nuestros días y su forma ha sufrido modificaciones profundas. A medida que el curso del río se iba prolongando por su avance en el mar, a caballo de sus propios aportes sedimentarios, aumentaba la probabilidad de que una crecida buscara y consiguiera un desagüe más cercano abriendo una rama lateral. En los últimos siglos se han sucedido las aperturas y los abandonos de varios ramales del río en el delta, y la forma de éste ha cambiado en consecuencia. En cada cambio, la parte exterior de cada desembocadura abandonada era erosionada rápidamente por el oleaje al mismo tiempo que las nuevas desembocaduras avanzaban mar adentro. Esta serie de remodelaciones sucesivas ha seguido, aunque irregularmente, un proceso dirigido hacia una estructura más compacta y estable. Mientras que hace 400 años el delta estaba disgregado en grandes islas entre las que transcurrían varios brazos principales del río, hoy vemos una superficie casi monolítica, sin más pedazos relativamente sueltos que dos delgadas alas laterales. El río sólo tiene una pequeña bifurcación final. Las dos prolongaciones laterales del frente deltaico son quienes dan al delta del Ebro su silueta familiar: son las flechas litorales de El Fangar y los Alfacs, que abriga del oleaje los laterales marismáticos del delta.

En los tiempos anteriores al gran desarrollo deltaico, los aportes del Ebro tuvieron un papel importante en el modelado de la orla sedimentaria litoral de buena parte del Levante peninsular. A lo largo de toda esta costa, hasta cerca de la gran avanzada rocosa del cabo San Antonio, se mantiene el predominio del oleaje del Cuadrante N.E. que impulsa un transporte sedimentario neto siempre hacia el Sur. Es probable que la arena drenada por el sistema fluvial del Ebro en sus 84.800 Km<sup>2</sup> de cuenca llegase en cantidades significativas hasta al menos el cabo de Cullera cuando no, en los tamaños más finos, hasta el mismo final del largo recorrido litoral, en las dunas entre Oliva y Denia.

Esta situación cambió radicalmente cuando en los comienzos de la Edad Moderna el avance del delta cobró una aceleración súbita que llevó su extremo unos cuantos kilómetros mar adentro, a un área de profundidades considerables. El saliente llegó a ser tan apuntado que

creó una zona protegida del oleaje de Levante en su lado occidental y la costa adyacente. Esto, unido a los fuertes calados que rodeaban el extremo deltaico, cortó la comunicación sedimentaria del delta con el resto de la costa hacia el Sur. Privado de su fuente principal de material, el litoral playero cercano hubo de sufrir un cambio de alineación para adaptarse a las nuevas condiciones de equilibrio dinámico. En las cercanías de la base del delta el transporte litoral cambió de sentido como consecuencia de la "sombra" producida por la prominencia deltaica. El cambio de condiciones fue tan importante que en la zona de Casas de Alcanar, cercana al delta por el Sur, aún continúa el proceso erosivo que comenzó en aquella época. El borde costero es ahí un escarpe en conglomerados poco resistente que va siendo lentamente recortado por el oleaje, como lo era cuando lo visitó el geógrafo Cavanilles hace un par de siglos.

Mientras tanto, el oleaje fue remodelando los materiales del frente del delta creando una línea de costa independiente donde se reinstalan los procesos litorales. La asimetría del arco de ballesta formado habla del predominio del oleaje del cuadrante N.E., y el ala occidental, la larga flecha de Els Alfacs, se prolonga más y más queriendo alcanzar la línea de costa para reanudar la circulación sedimentaria hacia el Sur. La flecha oriental del Fangar trata por su parte, en su crecimiento, de ampliar la base del delta en el lado oriental disminuyendo el apuntamiento del gran saliente sedimentario.

Las dos flechas, y en general el delta del Ebro completo, están entre las formaciones costeras más notables de la Península. La de Els Alfacs crece por sucesión de grandes escamas arenosas, formando una ancha planicie que apenas sobresale del nivel del mar. Cubierta de grandes charcas habitualmente pobladas de aves acuáticas, la flecha es barrida en buena parte por el mar en los temporales. La ausencia de cadenas de dunas amplias y sólidas que den estabilidad a la flecha emergida es atribuible a la persistencia del Mestral, el viento del N.O. de gran velocidad que recorre lateralmente la formación esparciendo la arena a uno y otro lado. Es proverbial la fuerza del Mestral en este sector costero. Se trata básicamente del viento canalizado a lo largo del valle del Ebro, que sale con gran velocidad por la misma brecha en la cordillera litoral que da salida al río. Este mismo viento recorre longitudinalmente toda la parte meridional de la flecha del Fangar, desde su incurvación final hasta el arranque, dando origen a una cadena de dunas móviles que participa en un proceso sedimentario sumamente singular. Mientras que el oleaje transporta la arena desde el área de la desembocadura del río hacia los extremos de la flecha, el viento recoge buena parte de esa arena en las playas de la incurvación de aquel extremo y la transporta de nuevo hacia la desembocadura del Ebro por vía terrestre, formando una larguísima cadena de dunas alunadas que avanzan junto al mar a lo largo de la orilla. Es un circuito cerrado que ha dado forma a uno de los procesos físicos más interesantes y espectaculares que se encuentran en nuestras costas.

Otra característica del contorno del delta es la abundancia de zonas lacustres. Algunas de las lagunas han sido originadas por la substitución de los terrenos deltaicos y otras por procesos litorales que han dejado zonas acuáticas encerradas en las vicisitudes de las remodelaciones que ha sufrido el contorno deltaico. A este respecto las grandes ensenadas de El Fangar y Els Alfacs, abrigadas por sus respectivas flechas, estarían destinadas a convertirse en sendas lagunas litorales si las flechas siguieran creciendo hacia su destino natural. Sin embargo esta evolución no continuará por mucho tiempo, como veremos más adelante.

## PAUTAS SEDIMENTARIAS EN LOS ÚLTIMOS SIGLOS

La historia del delta del Ebro en los últimos cinco o seis siglos ha conocido dos episodios-gozne: uno hacia finales de la Edad Media y comienzos de la Moderna. El otro, en la época actual. Ambos han operado sobre la costa de la Península Ibérica, y constituyen un ejemplo de

cómo la intervención humana sobre el territorio puede modificar totalmente el ritmo natural de ciertos procesos geológicos de gran extensión y envergadura. Puede incluso hacerles tomar el sentido contrario. El saber hacer frente adecuadamente a las consecuencias derivadas de estos hechos constituye uno de los grandes desafíos que tiene enfrente la ingeniería de nuestros días.

Cuando se estabilizó la transgresión Flandense que ha sido mencionada anteriormente, los procesos sedimentarios litorales comenzaron su tarea de regularizar la línea de costa, profundamente indentada por el avance del mar sobre los valles fluviales próximos. Aunque posiblemente el nivel del mar siguió subiendo muy lentamente (en nuestros días se eleva a un ritmo anual de un milímetro y medio o dos), esto ha representado un fenómeno de segundo orden. Las extensiones arenosas sumergidas a poca profundidad fueron siendo reincorporadas por el oleaje al nuevo perfil de equilibrio, los salientes costeros poco resistentes fueron sometidos a erosión, los aportes fluviales fueron poco a poco rellenando los profundos estuarios y el sedimento fue distribuido a lo largo del litoral creando nuevas franjas playeras, cerrando ensenadas y formando infinidad de lagunas litorales que lentamente disminuyeron de tamaño a medida que recibían aportes marítimos y fluviales.

Si este proceso hubiera seguido su ritmo natural sin más interferencias la costa peninsular sería apreciablemente distinta, en varios aspectos importantes, de la que conocemos. Los estuarios serían más profundos, los deltas mucho menores y abundarían las lagunas litorales. Los romanos conocieron un rosario de lagunas litorales que recorría la costa mediterránea desde Tarragona hasta Alicante, y sus relatos indican que al menos algunas de ellas eran navegables. También los ríos de la costa sudmediterránea eran aún navegables en buenos trechos.

Lo que puso en marcha una enorme aceleración del proceso sedimentario desde fines de la Edad Media fue la deforestación extensiva de la Península Ibérica. En pocos siglos las costas de casi toda la Península reflejaron en profundidad los resultados de la gran masa de tierras erosionadas en las tierras interiores y depositadas por los ríos en sus desembocaduras. Medidas actuales indican que el paso de terreno boscoso a cultivo aumenta el índice de erosión en hasta más de dos órdenes de magnitud. Es decir, en un año se erosiona lo que hubiera tardado hasta más de dos siglos en ser erosionado.

En consecuencia los procesos sedimentarios litorales se dispararon. Como a cámara rápida los portugueses vieron cerrados todos sus puertos fluviales uno detrás de otro, varias rías cantábricas quedaron prácticamente colmatadas y todas las orientales en precario (la base cantábrica de la armada tuvo que ser trasladada en poco tiempo desde la ría de San Vicente a la de Santoña y de ahí a la de Santander, por falta de calados), proliferó la formación de tómbolos (por ejemplo el de Santoña), las lagunas litorales levantinas se encogieron hasta que poco quedó de ellas, y los deltas salieron al mar con fuerza redoblada. El caso más imponente de entre estos últimos fue el del delta del Ebro, con sus hoy 25 kilómetros de penetración en el mar y 320 Km<sup>2</sup> de extensión.

El siguiente hito en el proceso evolutivo pertenece a la generación actual, y consiste en el represamiento de la mayor parte de la red fluvial que drena el territorio peninsular. Según datos de 1975 casi el 80% de las tierras de la España peninsular descargan el sedimento erosionado no ya en la costa sino en los embalses. El problema es doble: los embalses se llenan de sedimentos y buena parte de la franja sedimentaria litoral tiene que sufrir modificaciones considerables en busca de nuevas posiciones de equilibrio. Los sectores costeros afectados son, naturalmente, aquellos bordeados por playas cuya alineación depende de un cierto transporte litoral neto y que se ven privadas de una parte importante del suministro de sedimento. Los ríos tienen una cierta inercia sedimentaria y transcurre algún tiempo antes de que el cauce a continuación de la presa se estabilice, pero esa estabilización llega a producirse y el aporte de arena se corta. Las perspectivas más sombrías son para la costa de Huelva, el óvalo valenciano y el delta del Ebro.

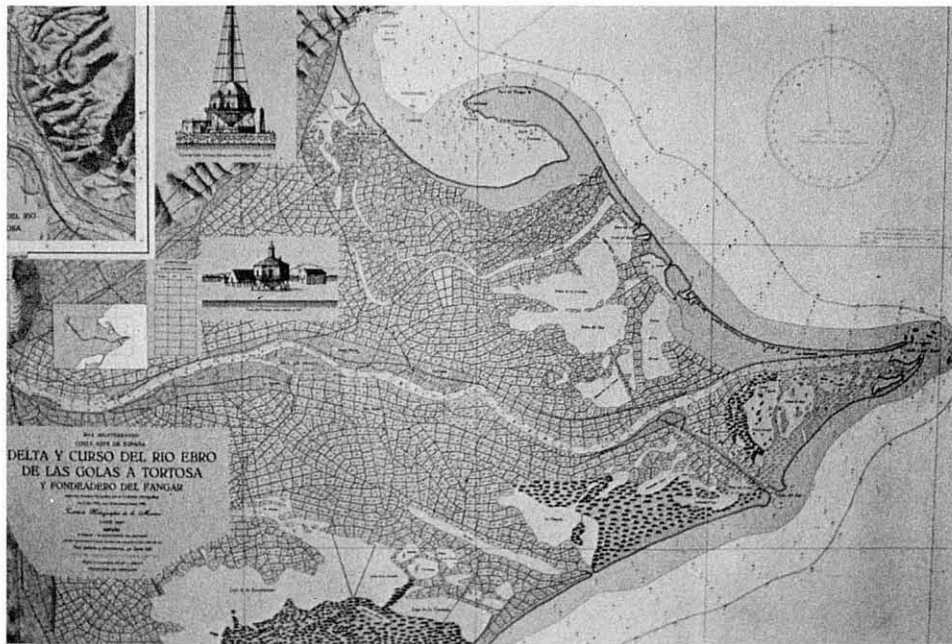
## EL FUTURO DEL DELTA

La razón de existencia del delta del Ebro, como de cualquier otro delta, es el predominio del flujo de aportes fluviales sobre el ritmo de transporte y redistribución litoral por parte del oleaje y las corrientes que sean relevantes. La corriente general costera debe jugar un papel, secundario pero de alguna entidad, en el caso del Ebro por la constricción de líneas de corriente que origina el conspicuo saliente deltaico. Hemos visto cómo el delta se ha aislado a sí mismo, en gran medida, del resto del litoral por lo súbito de su proyección mar afuera desde la Edad Moderna. Sólo una parte del sedimento más fino sigue seguramente viajando hacia el Sur llevado por la combinación de corriente costera y oleaje, pero esa es una fracción diminuta de lo que suponía el transporte litoral en épocas anteriores. Sin embargo este estado de aislamiento relativo no es de ningún modo estático. La evolución morfológica del delta tiende, como vimos antes, a un suavizamiento de su silueta global y el restablecimiento de la comunicación sedimentaria plena con el resto del litoral. Por lejos que esté aún el final de este proceso lo cierto es que la forma de todo el contorno arenoso frontal deltaico, desde la punta de Els Alfacs a la del Fangar, ha sido modelada para dar paso a un activo transporte sedimentario desde la desembocadura del río hacia uno y otro lado. ¿Qué ocurrirá cuando el río deje de llevar su acostumbrada carga sólida?

En términos generales la predicción no es difícil. En una primera etapa el oleaje suplirá los aportes del río erosionando el morro central del delta, y continuará efectuando con esos materiales la transferencia hacia ambos lados. Puede preverse que el retroceso de la punta será rápido. El área de la isla de Buda será lo primero en desaparecer, y posteriormente la parte central del frente deltaico retrocederá con más lentitud formando un arco cada vez más achatado, dejando en el mar la urbanización cercana y un buen pedazo de arrozales. A medida que el mar penetre en un frente más amplio, formando una curva más y más tendida, esta zona entrará en una fase de estabilización relativa, construyéndose la transferencia de arena hacia las flechas laterales. Ahora serán



*Plano de 1888 del Delta del Ebro.*  
*Fotoplano actual del Delta del Ebro. (foto Ocotesa)*





los sectores de las bases de una y otra flecha quienes busquen una posición ajustada a la falta de suministro sólido, cediendo terreno al mar. Presumiblemente la de Els Alfacs será la más rápidamente afectada. Por un lado es seguramente la que depende de un mayor flujo de transporte litoral. Por otro, su arranque es el largo y delgado istmo de El Trabucador, que no resistirá un retroceso apreciable y desaparecerá dejando aislada la cabeza de la flecha. La isla de Els Alfacs suavizará su curvatura en el centro e incurvará el extremo por donde antes se había unido al delta. Quedará durante algún tiempo frente a las marismas sudoccidentales del delta, con una forma de media luna, desintegrándose lentamente al tiempo que va inundando con sus materiales el gran estrecho intermedio. Seguramente la flecha de El Fangar durará más. No sólo el transporte litoral de que depende es muy probablemente inferior, sino que además cuenta con la singular contracorriente eólica que constituye su cadena de dunas móvil. Ese transporte por vía terrestre recircula una buena parte del sedimento que vuelve a la zona central del frente deltaico y queda de nuevo a disposición del oleaje. No sabemos qué proporción del transporte total representa este circuito cerrado, ya que no hay medidas ni de este ni de ningún otro movimiento de arena en el delta, pero debe ser una parte importante. Cuanto mayor sea, mejor es la estabilidad de todo el sector. Pero con un retraso más o menos prolongado la flecha terminará por decaer igualmente.

En el proceso de retroceso general del delta habría que esperar irregularidades considerables, a medida que la nueva línea de orilla vaya encontrando lagunas y variaciones en la constitución del terreno. Las vicisitudes de la evolución formativa del delta irán quedando al descubierto. Pero en definitiva, el delta irá tomando una forma más y más achatada, caminando hacia su desaparición una vez que ha dejado de existir la fuente sedimentaria que le dio origen y le mantuvo.

De la eliminación de los aportes del Ebro no queda duda. Su cuenca receptiva está represada prácticamente por completo, y la arena destinada a mantener el frente deltaico no sale de los embalses. Carentes de las necesarias medidas, no sabemos si el cauce del río desde la presa de Flix se ha estabilizado ya o si el Ebro aún arrastra los últimos remanentes de bancos sedimentarios y algunos productos de erosión del propio lecho y márgenes. Pero la estabilización no es lenta. Como término de referencia puede comentarse que tan sólo 3 años después de la construcción de la última presa de Asuán, en el Nilo, la carga total de sedimento que llevaba el río en su desembocadura (distante 900 Km de la presa) había disminuido en un 95%. Como consecuencia el delta del Nilo retrocede velozmente. Se ha escrito que la presa de Asuán, al represar también el sedimento, está causando una de las grandes catástrofes costeras de nuestro tiempo.

En 1937 el Ebro cambió por última vez su punto de salida, abriendo un corto ramal hacia el Norte de su desembocadura anterior. La distancia del salto es pequeña, pero la remodelación subsiguiente de toda esa zona es lo suficientemente intensa como para ocultarnos todavía los efectos del cambio radical que ha sufrido el régimen de aportes. No pasará mucho tiempo antes de que esos efectos se vean claramente.

La panorámica presentada se refiere a un futuro hipotético en el que no se haga nada para defender el delta. Sin embargo algo puede hacerse, y algo tendrá que hacerse.

## ALGUNOS GRANDES PROBLEMAS COSTEROS

Hasta aquí hemos pasado revista a un número de problemas que atraviesa el litoral catalán y también el peninsular. Otras cuestiones no menos importantes han quedado en el tintero, como por ejemplo el problema del impacto sobre las pesquerías costeras de la eliminación masiva de lagunas litorales primero por la aceleración de la sedimentación y posteriormente por la construcción de marinas. La problemática es muy extensa. Vamos a limitarnos a comentar algunos aspectos referentes a la modificación artificial de la dinámica sedimentaria costera,

haciendo un balance esquemático de la situación y tratamientos posibles bajo el punto de vista de la ingeniería de costas.

El recorrido por el sector septentrional de Barcelona y por el delta del Ebro que hemos hecho en las páginas anteriores ha puesto de relieve, entre otras cosas, las consecuencias derivadas del bloqueo de los circuitos sedimentarios litorales por parte de obras costeras y las derivadas de la eliminación de los aportes sólidos fluviales por la red de embalses. En el mismo capítulo entran las extracciones masivas de arena y grava en playas y cauces fluviales junto al mar, que en los últimos 20 años han proliferado en todo el litoral ante la demanda producida por el "boom" constructivo.

La solución ideal sería, naturalmente, restablecer las circulaciones sedimentarias bloqueadas. En el caso de los puertos situados en playas cuyo equilibrio depende de un transporte sedimentario neto en un cierto sentido, esta medida supone trasvasar la arena desde el lado acumulativo al erosivo por medios artificiales. Existe una variedad de posibilidades para ese trasvase que en algunos países como Estados Unidos viene practicándose desde hace ya más de medio siglo. Restituida la circulación mediante el trasvase, el puerto deja de existir como barrera y la orla sedimentaria litoral recupera su estado natural. En el caso de las presas en ríos que alimentan circulaciones litorales importantes para el equilibrio costero, el trasvase es más complejo por el tema del ritmo de caudales a liberar para mantener los arrastres aguas abajo; pero en principio es algo factible, al menos en una gran proporción. El embalse no se llena de sedimento y el litoral lo recupera para su mantenimiento de fronteras. En el caso del Nilo se han formulado propuestas muy elaboradas sobre el trasvase de una parte importante del sedimento retenido por la presa de Asuán.

Sin embargo los obstáculos para poner en práctica este tipo de solución, la más limpia y atractiva sin lugar a dudas, son formidables. Los de tipo humano, los administrativos y profesionales, no son en absoluto los menos importantes. Cuentan por lo menos tanto como los problemas puramente técnicos.

Por el lado de las costas, los trasvases portuarios están situados favorablemente en muchas ya que el precio alternativo de llenar de decenas y decenas de kilómetros de playas con espigones y escollerados de costa en sectores como Barcelona, Tarragona, Castellón, Valencia, Almería y Granada (la provincia más afectada hasta el momento), es enorme. Los trasvases en las presas son en cambio mucho más problemáticos. Entre los ríos fuertemente represados que alimentan formaciones costeras considerables están el Ebro, Guadiana, Turia, Júcar y Mijares. Hay un buen número de presas en cada una de las cuencas respectivas, no se trata de una presa única por río. Es posible que varios de esos embalses, con otros de otros ríos, se conviertan en el futuro en grandes centros de venta de áridos para la construcción a medida que sean invadidos por el sedimento. Pero es muy poco probable que si el organismo administrativo que planificó estas presas ya contaba en sus cálculos económicos con la pérdida progresiva del embalse, vaya ahora a considerar seriamente un costoso programa de trasvases de arena en función de las remotas playas. Remotas física, mental y administrativamente.

Por otra parte la medida que de hecho se viene empleando para contener la erosión originada por los puertos-barrera es las escolleradas de playa y espigones. Como se indicó anteriormente, los campos de espigones avanzan ya en muchos sectores costeros y seguirán avanzando en un futuro próximo al menos. Estas obras constituyen largas series de barreras sedimentarias que habrían de ser desmanteladas al mismo tiempo que se instalasen los trasvases en los puertos correspondientes. Existe el problema del costo de esos desmantelamientos, y existe el no menos importante problema de que el estamento administrativo correspondiente esté dispuesto a un cambio total en sus criterios de actuación. La radicalidad del cambio suscita enormes dificultades para ser aceptado, especialmente cuando lleva implícita una marcha atrás respecto a los criterios y actuaciones anteriores.

Aceptemos por el momento que las dificultades de varios órdenes que obstaculizan el tipo de solución basado en restablecer los circuitos sedimentarios litorales son tan enormes que le hacen inviable en la práctica. El tipo alternativo es tratar de detener la circulación a lo largo de todo el litoral afectado, y de fijar al mismo tiempo la posición actual de la línea de costa. La única forma de llevar esto a cabo es multiplicar las obras —barrera por todas las playas afectadas. No vamos a entrar aquí en el problema de hasta qué profundidad deberán llegar esas obras, ni del otro problema de su estabilidad física en ciertas zonas. Vamos a plantearnos qué otras demandas deben hacerse a la solución escogida además de las estructurales y funcionales.

## DEFENSA DE COSTAS Y PAISAJE LITORAL

No cabe duda que el paisaje del borde marítimo tiene un atractivo especial para la mayor parte de la población. Es una parte importante del conjunto de motivaciones que llevan millones de personas a las costas en los períodos de vacaciones. Además de esto, para la densa población residencial de los municipios litorales la ribera del mar es el entorno natural de asueto al aire libre por excelencia en casi todo el año. De modo que el pedir un trato de alta calidad ambiental para las intervenciones en el margen playero no es una pretensión exagerada. Examinemos este aspecto.

En un litoral playero abierto, como lo son habitualmente los que soportan una corriente sólida neta sustancial, la estructura del paisaje suele venir condicionada básicamente por unas pocas líneas: el horizonte en el mar, el borde mismo del agua, y el contorno interior de la extensión arenosa (bien en forma de cadena de dunas vegetadas, laguna o marisma, etc.). El impacto de una serie de obras que cortan o reemplazan repetidamente esas líneas fundamentales es decisivo. Pero sobre ese impacto estático existe otro dinámico que da un carácter especial a las obras costeras. Estas obras, al interferir en el equilibrio dinámico sedimentario, hacen cambiar la propia forma de las playas. Remodelan el medio. Esto es a la vez una fuente de problemas y de posibilidades bajo el punto de vista paisajístico. Conscientemente o no, la ingeniería de costas hace arquitectura del paisaje en un alto grado, hecho que requiere atención específica. La importancia de este aspecto viene reforzada por la escasa magnitud total de la franja litoral existente, una consecuencia de su estructura casi unidimensional.

Por desgracia la atención que se dedica al aspecto que estamos comentando es con demasiada frecuencia nula. Esto es cierto a nivel mundial, y es una de las razones que explica la degradación paisajística que ha sufrido una buena cantidad de tramos litorales intervenidos con obras costeras en todos los mares. Estamos, además, en una época en que se multiplican a un ritmo enorme las obras de defensa de costas en los cuatro continentes.

El caso español es uno más de deterioramiento extensivo de costa, particularmente en la fachada mediterránea. En concreto los peines de espigones que en muchas partes cuadrículan lo que fue línea de playa, a menudo acompañados por escolleros traseros y seguidos por escolleros no ya “detrás de” sino “en vez de” la playa, han producido una destrucción grave de la calidad ambiental de muchos sectores de costa abierta. Además las obras de defensa se han emprendido habitualmente en forma de una mezcla heterogénea de actuaciones, que no han obedecido a planes conjuntos realizados en función de los circuitos sedimentarios litorales completos sino que más bien han sido intentos parciales de resolver problemas erosivos puntualmente, según y allí donde iban cobrando gravedad.

Aún admitiendo que una gran parte de los litorales playeros abiertos debe ser modificada o “defendida”, puede tratarse de ofrecer a la población algo mejor que encajonarlos entre paredes de escollera cuando van a disfrutar del mar. Aunque naturalmente un conjunto de espigones conteniendo la playa ancha es preferible a los desprovistos o

casi-desprovistos de playa que abundan en la costa, el espigón no es el único tipo de obra capaz de disminuir el transporte sólido litoral. El escoger entre unos u otros de los tipos existentes debe ser una cuestión tanto estética como económica y funcional. A la hora de diseñar la defensa de un sector costero puede estudiarse la disposición de las obras y formas playeras inducidas, en busca de configuraciones armónicas.

## TÓMBOLOS Y HEMITÓMBOLOS

Entre las obras de defensa que ofrecen más amplias posibilidades paisajísticas están las estructuras aisladas frente a la playa, que originan tómbolos o hemitómbolos. Estos últimos son por cierto formaciones naturales relativamente abundantes en nuestras costas, donde cumplen también su papel de barrera litoral en mayor o menor grado. Hay tómbolos espectaculares a gran escala como los de Ifach, Peñíscola, Trafalgar o Santoña. En las calas de la Costa Brava, en las rías gallegas y las playas cantábricas abundan los tómbolos de pequeño tamaño. Uno de dimensiones medianas es el de Blanes. Con esto el tómbolo disminuye considerablemente las basculaciones de la playa. Es el mismo trabajo que podría hacer un espigón (y de hecho hay unos pocos espigones en una de las dos sub-playas de Blanes para reducir aún más las basculaciones), pero el tómbolo lo hace con una belleza de formas incomparablemente mayor. Mayor también, para ser justos y comparar formaciones naturales, que una pura prominencia rocosa que avanza desde la orilla como un espigón. De hecho, su tómbolo es una parte decisiva del encanto especial de la ensenada de Blanes. Tanto en playas cerradas como en litorales abiertos estas formaciones son casi siempre irregularidades armónicas que enriquecen el paisaje playero.

Es cierto que a menudo un factor importante en la estética de esos tómbolos naturales es un contraste afortunado entre la dimensión vertical del roqueado frontal y la lengua plana de arena doblemente cóncava a su pie. Quizá sólo en tómbolos artificiales pequeños sea poco importante el costo de abordar un tratamiento elaborado de la dimensión vertical, que podría quedar reservado para lugares de interés particular. Pero también prescindiendo de la verticalidad pueden formarse conjuntos marcadamente armónicos, como por ejemplo disponiendo sucesiones rítmicas de tómbolos de diferentes dimensiones a diferentes distancias. Una fuente de posibilidades económica y atractiva es el arrecife sumergido artificial, que queda oculto a la vista pudiendo originar un saliente playero limpio en hemitómbolo a su abrigo. Hay muchas combinaciones posibles de unas y otras formaciones.

Entre las grandes unidades fisiográficas aún poco tocadas pero que habrá que intervenir de una u otra forma está el delta del Ebro.

La eliminación de aportes del Ebro a su delta es total a corto plazo y la existencia de toda la planicie deltaica depende de que continúe protegiéndola del oleaje su franja arenosa frontal, cuya longitud es de unos 55 kilómetros. Habrá que pensar en buscar una forma de equilibrio con transporte nulo para esa franja defensiva. Para ello deberán emplearse inevitablemente obras-barrera, si bien pueden al mismo tiempo dejarse evolucionar ciertas partes del frente deltaico hacia posiciones retrasadas, más estables, aceptando esas pérdidas como parte de una estrategia defensiva, lo cual es una razón a añadir a las expuestas anteriormente para no permitir esas urbanizaciones. En cualquier caso sería desolador ver acabar el contorno del delta cubierto de escolleros y espigones como tantos otros pedazos de la costa mediterránea.

Y, a pesar de todo, no hay tampoco por qué renunciar a pensar que la limpia solución de un trasvase de arena llegue a ser adoptado en ciertos casos singulares.

La defensa de un sistema dinámico no tiene porque defenderse estáticamente, la colaboración del hombre en él puede ser básica y la restitución mecánica de aportes puede dar al sistema un nuevo equilibrio no regresivo.